


# جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة الرابعة من السنة الرابعة عشر

١١٧


## محاضرة

# فى مقاس حركات المبانى


ألقاها

الدكتور هرست

مدير عام مصلحة الطبيعيات



ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ٨ فبراير سنة ١٩٣٤

---

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر بمصر



جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة الرابعة من السنة الرابعة عشر

١١٧

# محاضرة

# فى مقاس حركات المبانى

مترجمة عن الانجليزية

ألقاها

الدكتور هرست

المدير العام لمصلحة الطبيعيات التابعة لوزارة الأشغال العمومية

بجمعية المهندسين الملكية المصرية

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ٨ فبراير سنة ١٩٣٤

---

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر لصاحبها محمود الخضرى

الجمعية ليست مسئولة عما جاء بهذه الصحائف من البيان والآراء

تنشر الجمعية على أعضائها هذه الصحائف للنقد وكل نقد يرسل للجمعية يجب أن يكتب بوضوح وترفق به الرسومات اللازمة بالحبر الأسود (شيني) ويرسل برسمها .

# فى مقاس حركات المبانى

أنواع الحركات فى المبانى :

ان أكثر هذه الحركات شيوعاً هى الأنواع الآتية : —

( ١ ) الترييح أو الهبوط — يرجع ذلك إلى ثقل المبانى ويحدث عادة عند ما يكون الثقل غير موزع توزيعاً صحيحاً بواسطة الأساسات أو عند ما تكون التربة ذات طبيعة عجينية وأحياناً إذا كانت التربة عبارة عن رمال سائبة إذ تكون سهلة الحركة بفعل المياه وقد حدث فى مدينة شيكاغو أن هبطت فيها عدة مبان بسبب انسياب الطينة العجينية فى حفر عملت فى الجانب المقابل من الشارع . وحدث أيضاً فى لندن أن هبط حائط حوض للسفن بسبب انسياب الرمل من تحته إلى حفرة فى حوض آخر يبعد ٥٠٠ متر عنه . وفى العادة لا يحدث ضرر من الهبوط إذا كان منتظما وبدرجة واحدة فى جميع أجزاء المبنى وأما إذا لم يك كذلك فانه يحدث شروخا وفى بعض الأحيان يكون سبباً فى تداعى البناء .

العلو والهبوط تبعاً لرطوبة التربة وجفافها — وهذا يحدث فى تربة القطن بالسودان إذ تنتفخ التربة وتعلو ابان فصل الأمطار فاذا حل فصل الجفاف انكمشت فاحدثت فى ذاتها شروخا كبيرة عميقة ولقد كان ذلك سبباً فى حدوث أضرار جمة للمبانى كما كان أيضاً سبباً فى الحاق الأذى

بالروبيرات ومقاييس النيل ولا سبيل إلى إيجاد علامة ثابتة هنـاك إلا بادخال قضبان لولبية وانزالها إلى ما تحت القطن .

٣) الحركات الناشئة عن تغير كمية الرطوبة فى المواد — أشهر المواد التى تتأثر من هذه الحركات هى الخشب وبعض أنواع الأحجار ذات المسام فان التضخم الذى يصيب هذه المواد فى حالة تعرضها للرطوبة مما يؤدى إلى التصاق الأبواب والشبابيك واحداث شروخ فى مبانى الطوب والحجر .

٤) الحركات الناشئة عن تغير الحرارة — أن حالة التمدد والانكماش التى تحدث فى الحوائط الطويلة بسبب تغير الحرارة تكفى وحدها لأحداث الشروخ بالمبانى إلا إذا عمل الاحتياط لمنع حصول ذلك بواسطة فواصل التمدد وقد حدث ذلك فى بعض الشكنات التى بالعباسية منذ نحو ٢٥ عاما وقام المحاضر بقياس التغير الذى حدث فى طول احدى الحوائط بتلك الشكنات .

ومن شأن الحركات التى تنتاب المبانى بسبب تغير الحرارة أن آثارها بدو ظاهرة جلية فى سدود الخزانات وقد عمل حساب هذا التغير فى التصميم الذى وضع لتعلية خزان أسوان .

٥) الحركات الأهتزازية - قد تنشأ هذه الحركات أحيانًا من اشتداد حركة المرور فى الشوارع القريبة من المبانى أو من وجود ماكينات بداخلها أو من دق خوازيق على مقربة منها .

كذلك قد تسبب الرياح اهتزازات فى لمبانى المرتفعة جداً كالمداخن الشاهقة .

٦) الحركات الناشئة عن الزلازل — ان الأهتزازات التى تحدثها الزلازل تتخذ عادة شكل تموجات تندفع منبعثة من مركزها الأصلى وهذه التموجات تكون على أنواع شتى ولكن النوع الذى يلحق الضرر بالمبانى هو التموجات العرضية التى تسير على سطح الأرض مشابهة لأمواج البحر ويمكن وصفها اجمالا بأنها عبارة عن صعود وهبوط فى الأرض مصحوبين بانحراف أو ميل فى السطح وهذا الأنحراف هو الذى يسبب الضرر للمبانى . وقد لاحظ المحاضر أن معظم الضرر الذى نجم عن الزلازل التى حدثت فى بلغاريا فى شهر أبريل سنة ١٩٢٨ كان ناشئاً عن سقوط مداخن المنازل فوق سقوفها.

## طرق القياس

١) الحركات الرأسية التى لاتصحبها اهتزازات : —

ان خير الأساليب التى تتبع لقياس هذه الحركات هو استعمال ميزان دقيق لتحديد فرق المنسوب بين علامات ثابتة فى المبانى وبين الروبيرات الخارجية البعيدة عن جميع الأضطرابات .

وقد اتبعت مصلحة المساحة المصرية هذه الطريقة لتحديد مقدار الحركة الرئيسية فى المبانى الجديدة لسراى المحكمة المختلطة بالقاهرة . وقد تفضل حضرة صاحب العزة المدير العام لهذه المصلحة وسمح لى بذكر نتائج المقاسات التى قامت بها المصلحة وهذا بيانها : —

| ١٩٣١ | النقطة رقم ٨ الواقعة بمحور الوجهة الأمامية للمبنى<br>المنسوب بالأمتار | مقدار الهبوط بالمليمترات | النقطة رقم ٢٣ بالوجهة الخلفية للمبنى<br>المنسوب بالأمتار |
|---|---|---|---|
| مارس | ١٩ر٧٤٤ | ٦ | ١٩ر٩٩٣ |
| يونيه | ر٧٣٨ | ٥ | |
| سبتمبر | ر٧٣٣ | ٦ | |
| ١٩٣٢ | | | |
| يناير | ر٧٢٧ | ٤ | |
| مارس | ر٧٢٣ | ٣ | |
| يونيه | ر٧٢٠ | ٥ | |
| سبتمبر | ر٧١٥ | ٣ | |
| ١٩٣٣ | | | |
| يناير | ر٧١٢ | ٢ | |
| مارس | ر٧١٠ | ٢ | |
| يونيه | ر٧٠٨ | ١ | |
| سبتمبر | ر٧٠٧ | ٢ | |
| ١٩٣٤ | | | |
| يناير | ر٧٠٥ | | ١٩ر٩٩١ |

ومن هذه البيانات يرى ان الهبوط الذى انتاب الوجهـــة الأمامية

المبنى آخذ فى التناقص تدريجاً بينما يتضح أن الواجهة الخلفية يكاد لا يكون قد حدث بها هبوط على الاطلاق وهذه الطريقة تؤدى إلى تبيان الحركة الفعلية للمبنى بالنسبة إلى نقط خارجية ثابتة .

أما ميل المبانى بسبب عدم تساوى الهبوط فيمكن قياسه بميزان روح تسوية حساس يركب على مسامير مثبتة فى حائط المبنى ويراعى وقايتها من الغبار والصدأ . ويمكن لهذا الميزان أن يقيس ميلا قدره ثانية واحدة من الزاوية المحيطية أو بمعنى آخر يمكنه أن يبين فرق هبوط مقداره ٠ر١ ملليمتر عن كل ٢٠ متراً . ويمكن باتخاذ التدابير المناسبة قياس الميل فى كلا الاتجاهين طولا وعرضاً . وهـــــذه الطريقة على ما أعلم لم تسبق تجربتها فى القطر المصرى ولـكنها ربما ادت إلى الحصول على نتائج مرضية .

وإذ ما حدث تشقق فى أحد الأبنية أمكن قياس حركة أحد جانبي الشرخ بالنسبة إلى الجانب الآخر بواسطة ورنية وذلك بأن تلصق إحدى المسطرتين بالجانب الواحد والأخرى بالجانب الآخر من الشرخ كما يرى ذلك فى الشكل رقم (١) . وقد صنعت ورنية لهذا الغرض فى ورشة مصلحة الطبيعيات وهى مستعملة الآن فى مبانى المحكمة المختلطة الجديدة ويمكن أن يقاس بها إلى أعشار الملليمتر .

وكذلك يمكن أن تقاس حركات جانبي الشرخ بالنســبة لبعضها بواسطة ميكرومتر خاص يسمى Crack Micrometer وهو من صنع شركة كمبردج للآلات العامية ويحتوى على ميزان حساس كالميزان السابق

وصفه وميكرومتر ويمكن بواسطته قياس المركبة الرأسية للحركة النسبية لجانبي الشرخ . ( الشكل رقم ٢ )

وعند استعمال هذه الآلة يثبت قضيبان من المعدن عموديان على الحائط ويكون كل منهما على أحد جانبي الشرخ ( كمايرى فى الشكل ) ويحمل الميكرومتر على ذينك القضيبين ثم يضبط الميزان بواسطة بريمة الميكرومتر ويقرأ رأس الميكرومتر ويدون . فالفرق بين القراءات المتتابعة يعطينا الحركة النسبية التى حدثت فى جانبي الشرخ أثناء فترات القراءة وانما ينبغى أن تكون القضبان التى تستعمل لهذا الغرض من معدن غير قابل للصدأ حتى يبقى محتفظاً بأبعاده مدداً طويلة . وهذا النوع من المعدن هو « المونل » وهو مركب من النيكل بنسبة ٦٩ فى المائة ومن النحاس الأحمر بنسبة ٢٨ فى المائة ومن الحديد بنسبة ٢ فى المائة ومن كميات طفيفة من مواد أخرى .

## الحركات الأفقية التى لا تصحبها اهتزازات :

خير الطرق التى تستخدم فى المبانى الكبرى لقياس التغير فى المسافات الأفقية بين مختلف أجزاء المبنى هى استعمال أسلاك الأنفر « Invar » والأنفر هو مزيج معدنى من النيكل والصلب وخاصيته ان معامل تمدده بالحرارة منخفض جداً وبيان ذلك ان :

معامل التمدد فى الصلب هو ١ على ١٠٠٫٠٠٠ لكل درجة حرارة بميزان سنتيجراد .

ومعامل التمدد فى إحداث أنواع الأنفر هو ٦ على ٠٠٠ر٠٠٠ر١٠٠ لكل درجة حرارة بميزان سنتيجراد .

ومعامل التمدد فى مبانى الطوب نحو ١ على ٠٠٠ر١٠٠ لكل درجة حرارة بميزان سنتيجراد .

ومعامل التمدد فى المبانى بالحجر نحو ٥ على ٠٠٠ر٠٠٠ر١ لكل درجة حرارة بميزان سنتيجراد .

ولذا يستعمل الأنفر بكثرة لقياس خطوط القواعد فى أعمال المساحة بفضل قلة تغير طوله مع الحرارة يعطى نتائج غاية فى الدقة وقد استخدمت مصلحة المساحة المصرية هذه الطريقة فى مقاسات مبنى المحكمة المختلطة الجديدة وكيفية ذلك ان يركب على الحائط فى نقط متعددة قضبان من النحاس الأصفر وعليها علامات رفيعة ثم يشد سلك الأنفر بواسطة أثقال معلقة بحبلين فوق بكرات تبرم فى مقابض فى الحائط وعند ذلك يكون السلك قريباً من العلامات التى ينسب اليها المقاس فتقرأ المسافة التى بين العلامات على مساطر مركبة على نفس السلك وقد أتت هذه الطريقة بنتائج حسنة فى مبانى المحكمة المختلطة فقد أدت إلى معرفة مقدار الانكماش الذى حدث فى المبانى تبعاً لما حدث من الانخفاض فى الحرارة وتبين من ذلك أن طولا قدره ٦٤ متراً فى السقف قد انكمش بمقدار ٣٣ ملليمترات بين أول نوفمبر سنة ١٩٣٣ وأول يناير سنة ١٩٣٤ . أما الحركات التناسبية لجانبي الشرخ أو لوصلة التمدد فيمكن قياسها بالميكرومتر العادى وهو عبارة

عن بريمة محكمة الضبط ولها رأس مقسم إلى أقسام تبين كسور الدورة .
ولاستعمال هذه الآلة تثبت عوارض معدنية بالأسمنت على جانبى الشرخ لتكون بمثابة نقط محددة تتحرك بتحرك البنيان وتقاس المسافة بينهما بواسطة الميكرومتر . وقد عمل هذا بمبانى المحكمة المختلطة منذ بضعة أشهر

وقد أدخلت شركة كمبردج للآلات العلمية تحسيناً جديداً على الميكرومتر العادى بصنع آلتها المسماة ميكرومتر الشروخ Crack Micrometer وهو المبين فى الشكل رقم ٣ ويستعمل بتثبيت قضيبين اسطوانيين مصنوعين من معدن « المونل » داخل الحائط على جانبى الشرخ بمنسوب واحد ويركب الميكرومتر فوق أحد القضيبين ويدار رأسه حتى يمس ذراعه القضيب الآخر ويقرأ عند ذلك رأس المكرومتر

وقد استنبط مكرومتر آخر للشروخ لقياس الحركة النسبية لجانبى الشرخ فى مستوى عمودى على مستوى الحائط .

ولدوام تسجيل التغيرات فى اتساع وصلات التمدد وفى الشروخ صنعت ورشة مصلحة الطبيعيات آلة خاصة لرسم هذه التغيرات تسمى (اكستنسجراف) وهى عبارة عن اسطوانة تديرها عدة ساعة بحيث تتم الدورة الواحدة فى ظرف أسبوع ويرسم عليها قلم تسجيل متصل بمجموعة من الأذرع وتوصل الاسطوانة ونقطة ارتكاز قلم التسجيل بأحد جانبى وصلة التمدد ويوصل طرف مجموعة الأذرع بالجانب الآخر وبذلك تكبر الحركة النسبية لجانبى الوصلة بواسطة هذه الأذرع فتسجل على ورقة ملفوفة على الاسطوانة كما يرى فى الشكل (٤) . وقد استعمل هذا الجهاز فى مبنى

المحكمة المختلطة لقياس مقدار الحركة اليومية التى تحدث فى المبنى من جراء تغيير الحرارة وقد ظهر من الرسومات التى يسجلها الاكستنسجراف وجود تغيير يومى فى سعة وصلة التمدد يبلغ ١/٢٠ من المليمتر بينما يقدر مدى التغيير اليومى فى الحرارة داخل الحائط بدرجة واحدة بمقياس سنتيجراد .

ويبين الشكل رقم ٥ وجود علاقة واضحة بين سعة الوصلة والحرارة داخل الحوائط وقد قيست الحرارة داخل الحائط بادخال بصيلة ( Bulb ) ثرموغراف خاص فى الحائط .

ويبين الشكل رقم ٦ مقدار التغير الذى طرأ على وصلة تمدد أخرى فى المدة من ٢٠ سبتمبر ١٩٣٣ إلى ٣١ يناير ١٩٣٤ وسننتظر حتى تعود الحرارة إلى مقاديرها الأولى لنرى هل حدثت تغيرات مختلفة فى سعة وصلة التمدد أم لا ، وبسبب امتزاج التغيرات الناشئة عن الحرارة بالتغيرات الأخرى الناشئة عن هبوط البناء يكون من العسير تفسير التسجيلات التى تدونها آله الاكستنسوغراف

## ٣ — قياس اهتزازات المبانى

حدث أثناء قيام الحرب الكبرى أن طلب إلى المحاضر إبداء رأيه فيما إذا كان من المحتمل أن ينال صهريج المياه بمصر الجديدة ضرر ما بسبب الاهتزازات الناتجة من إطلاق المدافع الضخمة . فلاجل معرفة ذلك أقام جهازاً مكوناً من حوض ملىء بالزئبق ووضع فوق سطح الصهريج

ومرآة لتعكس أشعة الشمس على الزئبق وستارة تتلق انعكاس الشمس من حوض الزئبق فكان هذا الانعكاس يظل ثابتاً تماماً عند إطلاق المدافع بينما يتذبذب بدرجة كبيرة إذا ما مشى شخص فوق سطح الصهريج ، وإنما فى الوقت الحاضر وجدت وسائل خير من ذلك لتسجيل الاهتزازات فهناك آلة تسمى الفيبروجراف أى آلة تسجيل الاهتزاز تصنعها شركة كمبردج للآلات العلميـة وهى تعمل على نوعين أحدهما لتسجيل الاهتزازات الأفقيـة والآخر لتسجيل الاهتزازات الرأسية ويوجد فى كليهما كتلة حديدية ثقيلة الوزن متصلة بواسطة لوالب من الصلب بحامل يحمل اسطوانة خاصة ويوضع هذا الحامل على البناء المراد تسجيل اهتزازاته فيهتز باهتزاز البناء بينما تبقى الكتلة الحديدية ثابتة . وتوجد رافعة تتصل بهذا الثقل الحديدى وهى تحمل سناً خاصاً للتأشير فى شريط من الباغة ملفوف حول الاسطوانة وتدار الاسطوانة بعـدة كعدة الساعة فيحدث السن المذكور قناة سطحية غير عميقة فى شريط الباغة ومتى أضيئت هذه القناة عملت كما تعمل العدسة وترى عند فحصها بالمكرسكوب فى شكل خطين متوازيين ويمكن وضع علامات تدل على الزمن بواسطة سن آخر فى داخل الاسطوانة خلف الباغة ويمكن أن يدار هذا السن بالكهرباء بواسطة بطارية وساعة توصل التيار الكهربائى فى فترات متقطعة ومقدار كل منها عشر ثانية .

والشكل رقم ٧ يبين مدى الاهتزازات الأفقية مكبرة إلى عشر أمثالهـا كما أن الشكل ٨ يوضح مفردات هذا الجهاز فى صورة جلية .

فنرى كتلة الحديد M مدلاة من الحامل بثلاثة أشرطة رأسية من الصلب وهى المرموز لها بحرف B وحين انتقال الاهتزازات الأفقية إلى الحامل يمنع القصور الذاتى فى الكتلة المذكورة تحول مركبة الحركة فى الاتجاه الواحد من الانتقال إلى الكتلة الحديدية التى تبقى ثابتة فى ذلك الاتجاه بينما يتحرك الحامل بحسب الاهتزازات الحاصلة . ويرتبط الثقل الحديدى المشار اليه بواسطة الشريط المعدنى P بالرافعة G التى تدور فوق أطراف سكينية وحركة القاعدة بالنسبة لهذا الثقل تجعل الرافعة تحدث بمقدار ذلك حركات تذبذبية صغيرة تسجل على الشريط الباغة المتحرك المرموز له بحرف A بواسطة السن S المحمول فوق لولب متصل بطرف الرافعة G . وهذا الشريط ملفوف حول اسطوانة مشقوقة مرموز لها بحرف D تدور بواسطة عدة ساعة . ويمكن تغيير سرعة شريط الباغة بتحريك المؤشر J . وترسم خطوط مستوى المقارنة الزمنية على السطح السفلى للشريط بسن آخر يبرز من خلال فجوة ضيقة بين جزئى الاسطوانة المشقوقة D وهذا السن يدار بواسطة مغناطيس كهربائى صغير وهو المشار اليه بحرف T . والجهاز معد بحيث يمكن ضبط سن تسجيل الاهتزاز فى موضع الصفر وبحيث يتسنى أن يضغط هذا السن على الفلم ويرفع عن سطحه عند ما يراد إزالة الفلم أو تجديده أو عند إزالة الآلة نفسها . وعدة الساعة التى تدار بها الاسطوانة يمكن تشغيلها أو إيقافها عن العمل بواسطة المفتاح U وعند تحريك الآلة يصير ربط الكتلة الحديدية M بواسطة الرافعة E ويوجد مسامير ضبط برعية معدة لتسوية الآلة وهناك أيضاً روح تسوية مستدير الشكل مركب فوق

السطح العلوى للقاعدة تسهيلا لذلك .

وقد وضعت آلة مناسبة تفيد فى قطع التيار لأجل تشغيل المغناطيس الكهربائى الذى يدير سن تسجيل الوقت وهذه الآلة عبارة عن عدة ساعة تصل وتقطع دائرة كهربائية فى فترات منتظمة قدر الواحدة منها جزء من عشرة من الثانية فتحدث نقرات جلية على هذا السن فى تلك الفترات وهذا الجهاز لا يناسب لتسجيل الاهتزازات البطيئة .

ويمكن فحص ما يسجل على الشريط الباغة بواسطة المكرسكوب كما يمكن تكبير هذه التسجيلات بالفوتوغرافيا . ومن مزايا هذه التسجيلات أنه يمكن فحصها فوراً بمجرد عملها وبذلك يمكن تغيير ترتيب العمل طبقاً للنتائج التى يصير الحصول عليها وهذه الطريقة تفضل كثيراً طريقة التصوير الفوتوغرافى التى تحتاج إلى تحميض وتثبيت قبل أن يمكن فحصها.

ويبين الشكل ٩ بعض تسجيلات أخذت بواسطة آلة الفيبروجراف الأفقى الشبيهة بالآلة التابعة لوزارة الأشغال العمومية . وهذه الآلة يمكن استعمالها لتسجيل اهتزازات الكبارى أو الآلة الميكانيكية حيث يستطاع الاستدلال بها على ما إذا كانت هذه الآلات غير منتظمة الحركة أو أن أجزاءها المتحركة مختلة التوازن .

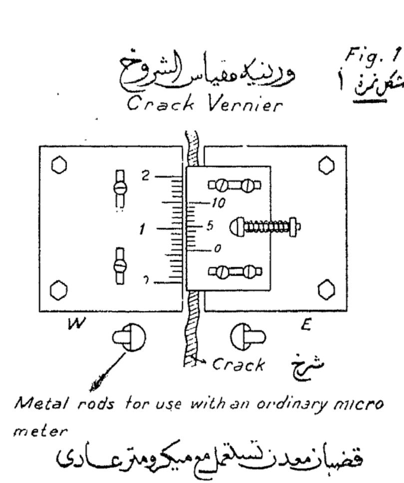
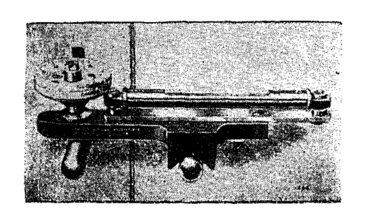



Fig. 1 شكل نمرة ١

ورنيه مقياس الشروخ

Crack Vernier



شکل ۲



شکل ۳

جهاز تسجيل التمدد

EXTENSOGRAPH.

Fig. 4.

شكل نمرة ٤

اسطوانة التسجيل
Recording drum.

اذرع رافعة لتكبير الحركة
Levers to magnify motion.

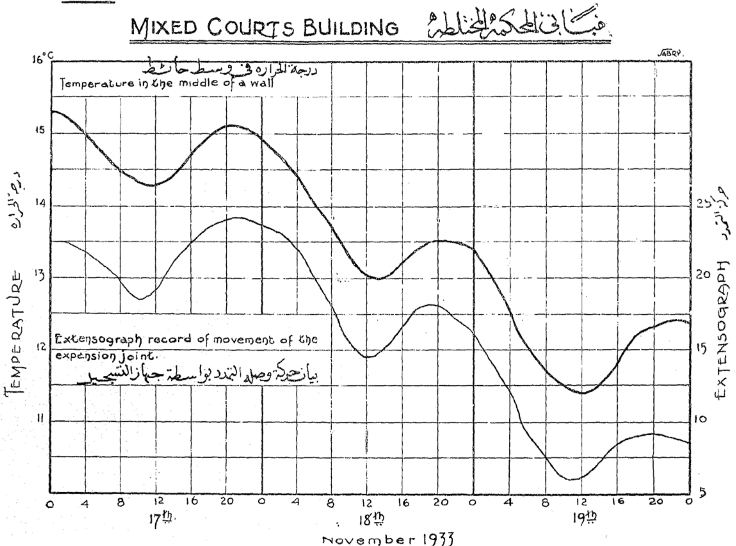
Metal rod set in wall.
عامود معدنى مثبت بالحائط

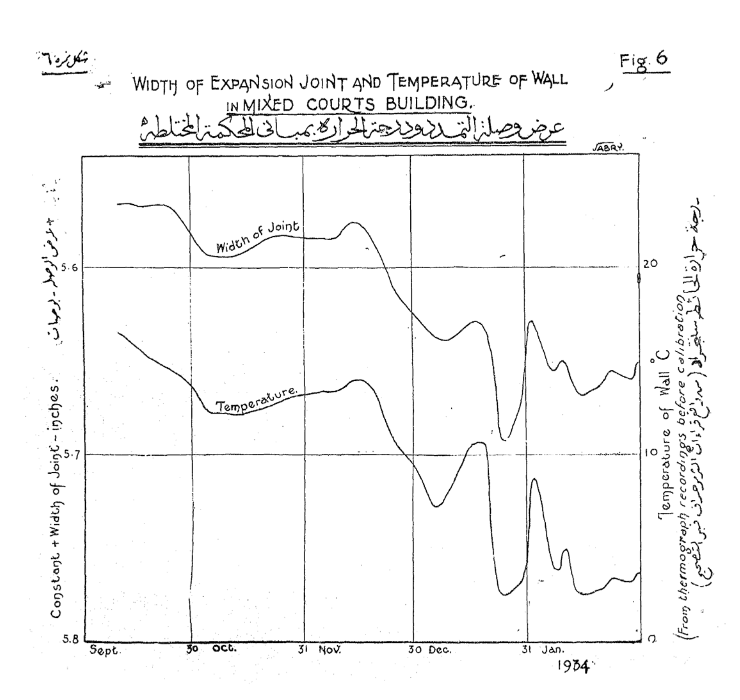
Metal rod set in wall
عامود معدنى مثبت بالحائط

Crack
شرخ

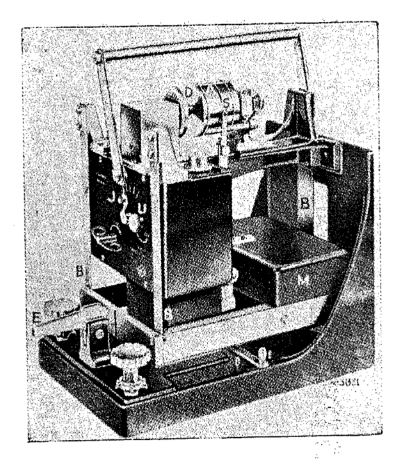
FIG. 5

شكل نمرة ٥





شكل نمرة ٦
Fig. 6
WIDTH OF EXPANSION JOINT AND TEMPERATURE OF WALL
IN MIXED COURTS BUILDING.
SABRY.
Width of Joint
Temperature.
5.6
5.7
5.8
20
10
0
Sept.
30 Oct.
31 Nov.
30 Dec.
31 Jan.
1934
Constant + Width of Joint - inches.
Temperature of Wall °C
(From thermograph recordings before calibration)




شكل ٧

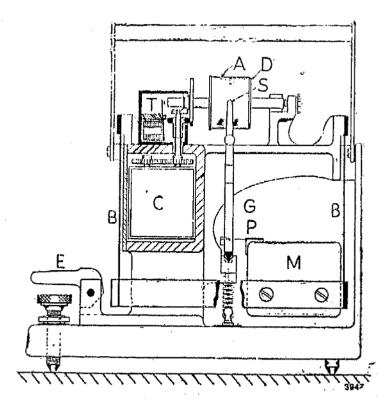
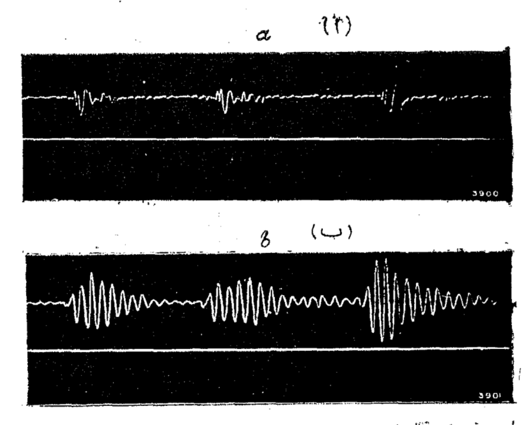



*Fig 8* شكل رقم ٨




(a) Vertical and (b) Horizontal vibrations in a large building due to pile-driving in adjacent ground. (Magnification about 120 linear.)

(أ) رأسي و(ب) الهزازات افقيه.
في مباني كبيرة متسببة عن دق خوازيق
في اراضي مجاورة
(مكبرة طولياً بمقدار ١٢٠ مرة تقريباً)

شكل ٩

from a horizontal vibrograph similar to the one belonging to the Ministry of Puplic Works. This instrument could be used for recording vibrations of bridges or of machinery and might give evidence in the latter case of uneven working or lack of balance of the moving parts.

The Mass M is suspended by three vertical steel strips B from the stand. When horizontal vibration are imparted to the stand the inertia of the mass prevents the component of the movement in one direction from being transmitted to the mass, and the latter therefore remains stationary in this direction while the stand moves in accordance with the vibrations. The weight is connected by a metal stip P to the lever G which turns upon knife edges, and the movement of the stand relative to the weight causes this lever to execute corresponding small rocking movements which are recorded on the moving strip of celluloid A by the stylus S carried upon a spring attached to the end of the lever G.

The strip is wrapped around a split drum D, which is rotated by clockwork.

The speed of the film can be varied.

Time-datum lines are marked on the under surface of the stip by a second stylus which projects through the narrow gap between the two portions of the split drum D. This stylus is operated by the small electro-magnet T. Adjustments are provided for the zero position of the vibration-recording stylus, and for its pressure against the film, while it may be raised from the film surface in the manner described on page 3 when it is desired to remove or renew the film or to move the instrument. The clockwork mechanism is started or stopped by rotating a switch.

When the instrument is being transported the Mass M is clamped by means of the lever E. Adjustable screwed toes are provided for levelling the instrument, and a circular spirit level fitted on the upper portion of the stand facilitates this operation.

A convenient form of contact breaker has been designed to actuate the electromagnet which operates the time-recording stylus. It comprises a clock mechanism arranged to make and break an electric circuit at regular intervals of 0.1 second, causing definite "kicks" of the stylus at these intervals. The apparatus is not suitable for recording slow vibrations.

The celluloid records can be examined with a microscope or enlarged by photographs. They have the advantage that a record can be examined immediately it is made and the programme of work altered as required by the results obtained. This is much more convenient than photographic records which need to be developed and fixed before they can be examined. Fig. 9 shows some records

in the middle of a wall is about 1° C. Fig 5 shows how close is the relation between the width of the joint and the temperature inside the walls. The temperature inside a wall is measured by burying the bulb of special thermograph in the wall. The change of another expansion joint from September 20, 1933 to January 31. 1934 is shown in Fig. 6. We shall have to wait until the temperature returns to its former values to see if there has been any progressive change in the width of the expansion joint. The superposition of temperature changes on those due to settling of the building is a difficulty in interpreting these records.

3) **Measurement of vibrations of buildings.** During the war I was called to give an opinion on the possibility of damage to a water tank at Heliopolis owing to vibrations caused by the firing of heavy guns. To test this an apparatus was set up which consisted of a pool of mercury resting on the roof of the tank, a mirror to reflect the sun on to the mercury and a screen to receive the reflection of the sun from the mercury pool. This reflection remained perfectly steady when guns were fired but became very unsteady when anybody walked on the roof of the tank.

At the present time better means of recording vibrations are available. The Cambridge Scientific Instrument Company makes an instrument called a vibrograph. This can be obtained in two forms, one for recording horizontal, the other for recording vertical vibrations. In both a heavy weight is attached by light steel springs to a stand which carries a drum. The stand is placed on the structure whose vibrations are to be recorded, and so vibrates with the structure while the heavy weight tends to remain stationary. A lever attached to the weight carries a marking point or stylus which marks on a celluloid strip wound round the drum. The drum: is rotated by clockwork. The point makes a shallow cylindrical groove in the celluloid and this groove when illuminated acts as a lens and usually shows up as two parallel lines when seen through a microscope. Time marks can be made on the record by another stylus which is inside the drum behind the celluloid and which can be put in circuit with a battery and a clock giving contacts at intervals of 1/10 second.

In the horizontal vibrograph shown in Fig. 7 the amplitude of vibration is magnified 10 times.

The details of the apparatus are obvious from Fig. 8.

The invar wire is stretched by weights suspended by cords over pulleys which are screwed into holders in the walls.

When this is done it lies near the reference marks and the distance between the marks is read on scales on the invar wire. This method has given good results at the Mixed Courts, and shows how the building has contracted owing to the lowering of temperature which has taken place.

A length of 64 metres of the roof contracted 3.3 millimetres between November 1. 1933. and January 1. 1934.

The differential movements of the two sides of a crack or of an expansion joint can be measured with an ordinary micrometer. This consists of an accurate screw with a divided head to show fractions of a turn. To use this instrument metal studs are set in cement on either side of the crack so as to give definite points which move with the masonry and the distance between these studs is measured with the micrometer. This has been done at the Mixed Courts for some months.

An improvement on this is the Crack Micrometer of the Cambridge Scientific Instrument Company which is shown in Fig. 3. Two cylindrical rods of monel metal are set in the wall one on either side of the crack at the same level.

The micrometer rides on one, and the head is turned until the boss at its centre just touches the other rod, and the micrometer head is then read.

A crack micrometer has also been devised to measure the relative motion of the two sides of a crack perpendicular to the plane of the wall.

In order to register continuously the changes of width of an expansion joint or a crack an extensograph was constructed in the Physical Department Workshop. This apparatus consists of a clockwork drum which revolves once in a week and a recording pen which is connected to a system of levers. The drum is attached to one side of the joint, and so is the fulcrum of the pen, but the end of the system of levers is attached to the other side of the joint so that the relative motion of the two sides is magnified by the levers and recorded on a paper chart as in Fig. 4.

This instrument was designed to show the regular daily movement of the Mixed Courts building due to temperature.

The records show a regular daily variation of the width of the expansion joint of 1/20 millimetre. The daily range of temperature

need to be carefully protected against dust and corrosion.

If a building has cracked the motion of one side of the crack relative to the other can be measured with a Vernier arrangement, one scale being attached on one side and the other on the other side of the crack. ( Fig. 1 ).

This instrument was made in the workshop of the Physical Department and is in use at the New Mixed Courts. It measures to tenths of millimetres. Relative motion of the sides of a crack can also be measured with a special instrument called a Crack Micrometer made by the Cambridge Scientific Instrument Co. This makes use of a sensitive level like the one already described and a micrometer screw and gives the vertical component of the relative motion ( Fig. 2 )

In setting up this instrument metal rods are fixed in the wall perpendicular to it on either side of the crack as in the figure and the micrometer is supported on these. The level is then adjusted by the micrometer screw and the reading of the micrometer head recorded. The difference in successive readings gives the relative motion of the sides of the crack in the interval. The rods should be of some metal which is not easily corroded, so that it retains its dimensions over long periods of time. Such a metal is "monel" metal an alloy of nickel (69 %), copper (28 %), iron (2 %) with small amounts of other substances.

**2) Horizontal movements which are not vibratory.**

In a large building the best way to measure changes of the horizontal distances between various parts of the building is with invar wires. Invar is an alloy of nickel and steel which has a very low coefficient of expansion with temperature. Thus

The coefficient of expansion of steel is 1/100.000 per degree centigrade

" " " " " the latest invar is 6/100.000.000

" " " " " brick walls is about 1/100.000

" " " " " masonry is about 5/1.000.000

Invar is extensively used to measure base-lines for surveys and owing to its small change of length with temperature can be made to give results of the highest precision. This method has been used by the Surveyof Egypt at the New Mixed Courts building. Brass rods with fine marks on them have been set in the walls at various points.

| 1931 | Point No 8 Centre of Front of building Level in metres | Amount of sinking in Millimetres | Point No 23 (at back of building) Level in metres |
|---|---|---|---|
| March | 19.744 | | 19.992 |
| June | .738 | 6 | |
| Sep. | .733 | 5 | |
| 1932 | | | |
| Jan. | .727 | 6 | |
| March | .723 | 4 | |
| June | .720 | 3 | |
| Sept. | .715 | 5 | |
| 1933 | | | |
| Jan. | .712 | 3 | |
| March | .710 | 2 | |
| June | .708 | 2 | |
| Sept. | .707 | 1 | |
| 1934 | | | |
| Jan. | .705 | 2 | 19.991 |

It will be seen that the settling of the front of the building is becoming slower while the back of the building is hardly settling at all.- This method gives the actual motion of the building relative to undisturbed points outside it.

A tilt of the building due to unequal settling might be measured by means of a sensitive spirit level applied to pins set in the wall of the building. A sensitive level will measure a tilt of l second of arc i.e. a differential settling of O. l m.m. on 20 metres. By suitable arrangements both tilts in the direction of the length and perpendicular to it could be measured. This method has not been tried in Egypt so far as known, but might well give satisfactory results. The pins would

joints. This happened in the case of some barracks at Abbasia about 25 years ago, and the author carried out measurements on the varitaion in length of one of the walls. Temperature movements make themselves felt on dams and are allowed for in the design of the heightened Aswan Dam.

5) **Vibratory movements.** These may be due to traffic along the streets near the building, machinery within the building or pile-driving near by. In very high buildings the wind may set up vibrations. as for example in tall chimneys.

6) **Movements due to earthquakes.** An earthquake disfurbance usually takes the form of waves which travel outwards trom the origin. These waves are of several kinds, but the ones which do damage to buildings are transverse waves travelling over the earth's surface. These are like waves on water and may be summed up as a rise and fall of the ground together with a tilt of the surface. It is the tilt which causes damage to buildings. In the Bulgarian earthquake of April 1928 the writer noticed that the most common damage was due to the fall of the chimneys of houses through the roofs.

## METHODS OF MEASUREMENT

1) **Vertical movements which are not vibratory.** The best method is to use some form of precision level and determine with it the difference of level between marks set permanently in the building and benchmarks outside which are free from any disturbances. This method is used by the Survey to determine the vertical movement of the New Mixed Courts Building in Cairo. By the courtesy of the surveyor-General I am able to quote the following results of measurements made by the Survey of Egypt.

# THE MEASUREMENT OF MOVEMENTS OF BUILDINGS.

## NATURE OF THE MOVEMENTS.

The commonest forms of movement are the following:-

1) **Settlement or sinking.** This is due to the weight of the building and usually occurs when this weight is not properly distributed by the foundations, when the soil is of a plastic nature, and sometimes when the soil is running sand which is accessible to water action. In Chicago buildings have settled owing to the flow of plastic clay into excavations made on the other side of the street. A dockwall in London settled owing to the flow of sand into the exavation for another dock 500 metres away. Equal settlement all over the building usually does no harm, but unequal settlement produces cracks and sometimes collapse of the building.

2) **Rise and fall due to wetting and drying of the soil** This occurs on the cotton soil of the Sudan which swells in the rainy season and in the dry season contracts producing large and deep cracks in itself. This has caused a lot of damage to buildings and has also caused difficulty with bench marks and with river gauges. The only way to get a permanent mark is to put in screw piles sinking them into the soil below the cotton soil.

3) **Movements due to change of moisture content of materials.** The principal materials affected are wood and some kinds of porous stone. The swelling of these when wet may lead to sticking of doors and windows or to cracks in brick or stonework.

4) **Movements due to changes of temperature.** The expansion and contraction of long walls with changes of temperature is enough to cause cracks unless guarded against by expansion.

# THE MEASUREMENT
## OF MOVEMENTS OF BUILDINGS.

by

**H.E. Hurst, C.M.G.; M.A.; D.Sc.; F. Inst.P.**

Director General, Physical Departement,

Ministry of Public Works.

Al-Ettemad Press, Cairo.